

Kontribusi Hara Sulfur terhadap Produktivitas Padi dan Emisi Gas Rumah Kaca di Lahan Sawah (*Contribution of Sulfur to Rice Productivity and Atmospheric Greenhouse Gases in Lowland*)

A. Wihardjaka dan Poniman

Balai Penelitian Lingkungan Pertanian

Jl. Jakenan-Jaken Km 5 Kotak Pos 5 Jakenan Pati 59182 Jawa Tengah

E-mail: awihardjaka@yahoo.co.id

Naskah diterima 20 Januari 2015 dan disetujui diterbitkan 22 Mei 2015

ABSTRACT

National food demand, especially rice increases in accordance with the rate of population growth. The availability of rice mostly is still relying on the intensification of irrigated and rainfed lowlands, through applying balance nutrients fertilization, including the management of sulfur (S). Sulfur as one of the essential nutrients, is required for protein and enzyme syntheses, amino acids formation and metabolic activities in plants. However, the program of rice production increases is also impacting on the increase of atmospheric greenhouse gases. The objective of this paper was to discuss sulfur management on rice production system and its impact on greenhouse gas emissions in lowland rice areas in Indonesia. Sulfur fertilization of 20 kg S/ha along with the application of N, P, K fertilizers was considered adequate to provide better plant growth and to yield of 5 t grains/ha. Sulfur fertilization should be applied before active tillering phase by broadcasting on the surface of flooded lowland rice field to obtain higher efficiency of S fertilizer. Besides increasing crop yield, sulfuric fertilization on rice crop played a role in mitigating greenhouse gases emission. The sulfuric fertilizer application reduced atmospheric greenhouse gases (GHGs) release, especially CH₄ and N₂O from lowland rice. Balance sulfur fertilization could improve yield and grain quality of rice as well as mitigated greenhouse gas emissions from the lowland rice areas.

Keywords: Sulfur, paddy soil, grain yield, emission, greenhouse gas.

ABSTRAK

Kebutuhan pangan nasional terutama beras, terus meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk. Penyediaan beras masih mengandalkan intensifikasi lahan sawah beririgasi maupun tadah hujan melalui pemupukan berimbang, termasuk pengelolaan hara sulfur (S). Sulfur dibutuhkan untuk sintesis protein dan enzim, penyusun asam-asam amino, dan terlibat dalam aktivitas metabolisme tanaman. Di sisi lain, budidaya padi sawah dapat menyebabkan peningkatan emisi gas rumah kaca di atmosfer. Tulisan ini membahas kontribusi pengelolaan hara S pada sistem produksi padi dan dampaknya terhadap emisi gas rumah kaca pada lahan sawah di Indonesia. Pemupukan 20 kg S/ha cukup memberikan pertumbuhan dan hasil gabah 5 t/ha, bersamaan dengan pemberian pupuk N, P, K. Pupuk S yang diberikan sebelum fase anakan aktif tanaman padi dengan cara disebar pada permukaan lahan sawah tergenang meningkatkan efisiensi pemupukan. Selain meningkatkan produktivitas tanaman, pemupukan S pada tanaman padi sawah berperan dalam mitigasi emisi gas rumah kaca (GRK). Pupuk yang mengandung S dapat menekan pelepasan gas rumah kaca, terutama CH₄, dan N₂O dari lahan sawah ke atmosfer. Pemupukan S secara berimbang memperbaiki hasil dan kualitas gabah yang sekaligus sebagai upaya mitigasi emisi gas rumah kaca dari lahan sawah.

Kata kunci: Sulfur, tanah sawah, hasil gabah, emisi, gas rumah kaca.

PENDAHULUAN

Kebutuhan pangan nasional terus meningkat sejalan dengan laju pertumbuhan penduduk. Padi menjadi pangan utama bagi lebih dari 90% populasi Indonesia meskipun Pemerintah telah menggalakan diversifikasi pangan. Stabilitas produksi pangan nasional didukung oleh intensifikasi dan ekstensifikasi pertanian, antara lain pencetakan sawah baru di luar Jawa, penggunaan masukan sarana produksi tinggi seperti benih, bahan agrokimia (pupuk dan pestisida). Namun penggunaan masukan tinggi dan intensif dapat berdampak terhadap ketidakseimbangan ekologi, terjadinya ledakan hama dan penyakit di beberapa daerah, kekahatan hara, keracunan unsur kimia, pencemaran terhadap air dan tanah, dan berkontribusi terhadap emisi gas rumah kaca (Kurnia 2008).

Peningkatan emisi gas rumah kaca (GRK) mengakibatkan pemanasan global dan perubahan iklim. Salah satu sumber emisi GRK di sektor pertanian adalah budidaya padi sawah sebagai sumber metana (CH_4) dan dinitrogen oksida (N_2O) (Johnson *et al.* 2007). Indonesia telah berkomitmen menurunkan emisi GRK sebesar 26% secara mandiri pada tahun 2020, dengan target penurunan emisi GRK dari sektor pertanian sebesar 0,008 Giga ton setara CO_2 (Balitbangtan 2011). Hal ini tertuang dalam Peraturan Presiden No. 61 tahun 2011 tentang rencana aksi nasional penurunan emisi GRK. Salah satu kegiatan yang mampu menurunkan emisi GRK di sektor pertanian adalah penerapan teknologi budidaya tanaman, antara lain penggunaan pupuk yang mengandung sulfur (S) (Sasa *et al.* 2000).

Intensifikasi dan peningkatan produksi tanaman padi nyata meningkatkan penyerapan hara dari dalam tanah, serta diprediksi meningkatkan laju emisi dan konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer (van Groenigen *et al.* 2013). Di beberapa daerah di Indonesia, petani padi umumnya menggunakan pupuk NPK dengan takaran relatif tinggi, misalnya petani padi di Jawa yang umum menggunakan pupuk urea lebih dari 300 kg/ha (Chaerun dan Anwar 2008). Akibatnya, terjadi ketidakseimbangan antara unsur hara yang diambil tanaman dan hara yang diberikan, sehingga memacu penurunan kesuburan tanah dan kekahatan hara tanaman tertentu, termasuk sulfur dan seng (Mamaril *et al.* 1991, Zuzhang *et al.* 2010).

Dalam upaya peningkatan produksi padi, perhatian lebih besar seyogianya diberikan kepada pengelolaan hara berimbang, termasuk sulfur dan hara-hara esensial selain NPK. Dalam beberapa dekade terakhir jarang diteliti penggunaan hara sulfur bagi tanaman padi. Referensi yang berkaitan dengan pemupukan hara S umumnya terbit pada tahun 1970-80an. Tulisan ini membahas kontribusi hara S pada sistem produksi padi dan dampaknya

terhadap mitigasi emisi gas rumah kaca di lahan sawah di Indonesia.

PERAN SULFUR DALAM BUDIDAYA TANAMAN

Sulfur dalam Tanaman

Sulfur merupakan penyusun asam-asam amino esensial (sistin, sistein, methionin) yang terlibat dalam pembentukan klorofil, dan dibutuhkan dalam sintesis protein dan struktur tanaman (Mengel and Kirby 1987). Sulfur juga sebagai penyusun koenzim A dan hormon biotin dan thiamin yang dibutuhkan dalam metabolisme karbohidrat (Dobermann and Fairhurst 2000). Khat S menghambat sintesis protein dan menurunkan kualitas produk tanaman. Lebih lanjut, asam-asam amino yang tidak mengandung S seperti asparagin, glutamin, dan arginin terakumulasi pada tanaman khat S yang berakibat pada buruknya aktivitas fotosintesis dan gula yang dihasilkan (Mamaril 1994).

Khat S pada tanah sawah tergenang terjadi akibat konversi sulfat menjadi fero sulfida tidak larut. Ini menjelaskan mengapa banyak petani mendrainase lahannya dengan maksud untuk mengatasi masalah tersebut dan merangsang pertumbuhan tanaman. Melalui drainase, sulfida (bentuk S tereduksi) dioksidasi menjadi sulfat (bentuk S teroksidasi) yang tersedia bagi tanaman (Mamaril *et al.* 1976).

Tanaman padi yang tumbuh pada tanah khat S dalam percobaan rumah kaca mempunyai kandungan methionin yang lebih rendah dalam gabah daripada yang tumbuh pada tanah cukup S (Ismunadji and Miyake 1978). Hasil penelitian Juliano *et al.* dalam Mamaril (1995) menunjukkan kandungan sistein dan methionin dalam protein beras merah meningkat dengan pemberian S pada tanah khat S di Bangladesh dan Indonesia. Kandungan sistein dan methionin rendah dalam protein teramati pada percobaan pot pada beras cokelat dengan nisbah N:S sebesar 16:25. Ini menjelaskan kandungan S dalam asam amino pada protein beras hanya terdeteksi bilamana ada kelebihan serapan N (Mamaril *et al.* 1991).

Pada percobaan pot dengan menggunakan contoh tanah Grumusol dari Ngale Jawa Timur dengan kandungan sulfur rendah, efektivitas pupuk ZA sama dengan K_2SO_4 dalam meningkatkan kandungan S tanaman padi pada batas normal. Tanaman tanpa pupuk S hanya mengandung 0,10-0,13% S, yang merupakan nilai batas kritis (Ismunadji *et al.* 1975).

Hara S kurang mobil dalam tanaman dibanding nitrogen, sehingga khat S cenderung terlihat pertama

kali pada daun yang muda. Kahat S menyebabkan reduksi kandungan sistein dan methionin pada tanaman padi (Dobermann and Fairhurst 2000). Gejala kahat S pada tanaman padi umumnya terlihat dari menguningnya daun, tanaman tumbuh kerdil, anakan berkurang, pembungaan tertunda, jumlah gabah hampa tinggi, dan perpanjangan akar terhambat (Yoshida and Chaudhry 1979). Menurut Jones *et al.* (1982), gejala kekuningan tanaman tidak seragam dan biasanya terjadi selama tahap pertumbuhan awal (dua minggu setelah tanam hingga fase anakan maksimum) pada kondisi tanaman kahat S sedang. Pada fase anakan maksimum, gejala kuning mungkin hilang, tanaman cenderung pulih, menjadi lebih hijau, namun jumlah anakan berkurang.

Kahat S pada tanaman padi sering dilaporkan pada awal abad ke-21. Pada tahun 1970-an, penyakit padi yang disebut 'mentek' disebabkan oleh kahat S seperti yang terjadi di Ngale dan Magelang (Ismunadji *et al.* 1975). Mengapa kahat S pada tanaman padi tidak teramati hingga kini. Hal ini disebabkan karena pupuk yang mengandung S umumnya diberikan lebih awal. Pupuk beranalisis tinggi dan bebas S seperti urea dan TSP telah digunakan secara meluas. Penggunaan varietas padi berdaya hasil tinggi, peningkatan intensitas tanam, penurunan penggunaan pestisida dan fungisida mengandung S, pengendalian emisi SO_2 lebih besar pada area industri, penurunan pendaurulangan biomassa dan penurunan pelepasan S tanah juga mendukung terjadinya peningkatan kahat S (Jones *et al.* 1982, Morris 1988).

Serapan Sulfur oleh Tanaman Padi

Tanaman umumnya menyerap S dalam bentuk SO_4^{2-} dari tanah. Namun, ada sejumlah bukti yang (menunjukkan tanaman juga dapat menggunakan SO_2 dari atmosfer (Mengel and Kirby 1987). Komponen-komponen *pool* S dalam tanah yang memasok tanaman padi adalah S-SO_4^{2-} dari larutan tanah dan yang dijerap partikel tanah, sedangkan bentuk ester-sulfat tersedia dalam jumlah yang kecil.

Banyaknya hara S yang diserap tanaman padi bergantung pada banyak faktor, di antaranya varietas, jumlah hara S dan N yang diberikan dan ketersediaan S di tanah, pengelolaan air, dan status hara lainnya di tanah. Sulfur total yang terangkut oleh tanaman padi berkisar antara 7,8-16,8 kg S/ha. Pada ekosistem sawah tadah hujan, serapan S total tanaman padi antarmusim tanam sangat beragam, di mana serapannya pada sistem gogorancan (padi musim hujan) lebih tinggi daripada pada sistem walik jerami (padi musim kering) seperti terlihat pada Tabel 1. Hasil gabah yang tinggi tidak selalu diikuti oleh jumlah S total yang diangkut tanaman. Bagian hara S yang diambil tanaman lebih banyak terdapat jerami.

Tabel 1. Serapan S total padi sawah tadah hujan di Jakenan, Jawa Tengah.

Pertanaman*	Hasil gabah (t/ha)	Total serapan S (kg/ha)	Unsur S yang terangkut per ton gabah (kg)
Gogorancan (Musim Hujan)	4,9	11,5	2,34
Walik Jerami (Musim Kemarau)	3,1	7,8	2,52

* Rata-rata dari tiga musim tanam
Sumber: Mamaril (1994)

Percobaan rumah kaca yang dilaksanakan di Filipina menunjukkan jumlah hara S yang diambil tanaman padi berasal dari pupuk S yang diberikan berkisar dari 7,2-27,7%, bergantung pada tipe tanah dan takaran S yang diberikan (Cacnio and Mamaril 1990).

Respon Tanaman Padi terhadap Sulfur

Masukan S kebanyakan berasal dari penggunaan ammonium sulfat (24% S) atau superfosfat tunggal (12% S). Sulfur yang diberikan dengan takaran 20-40 kg S/ha relatif cukup untuk memperoleh hasil yang tinggi, namun keragaman tanggap tanaman bergantung pada tingkat kekahatan S, potensi hasil varietas, interaksi hara, takaran yang diberikan, dan efisiensi penggunaan S (Dobermann and Fairhurst 2000). Peningkatan hasil rata-rata dari 28 lokasi di Sulawesi Selatan akibat pemberian hara S adalah 19% (Blair *et al.* 1979). Pada percobaan multilokasi di Sulawesi Selatan, efisiensi penggunaan S berkisar antara 65-157 kg gabah/kg S, berbeda dengan efisiensi penggunaan S di tanah sawah tadah hujan di Jakenan, Jawa Tengah yang hanya 25-33 kg gabah/kg S (Mamaril *dalam* Dobermann *et al.* 1998). Di beberapa daerah, tanggap S tidak konsisten. Di Jakenan, Jawa Tengah, tanggap terhadap S konsisten selama musim kering, tetapi tidak pada tanaman musim hujan yang menghasilkan gabah lebih tinggi di lokasi yang sama (Mamaril *dalam* Dobermann *et al.* 1998).

Besarnya tanggap padi terhadap pemberian S bergantung pada beberapa faktor, yaitu (1) ketersediaan S dalam tanah, air irigasi dan hujan, (2) budi daya tanaman, (3) sumber S, (4) takaran, waktu dan metode pemberian, (5) pengelolaan air, dan (6) musim (Mamaril 1994). Tanggap tanaman padi terhadap hara S yang tidak konsisten dapat disebabkan oleh sumber S alami lain seperti air hujan, air irigasi, dan SO_2 di atmosfer. Konsentrasi S dalam air hujan sangat beragam dan umumnya makin turun dengan meningkatnya jarak lokasi budi daya dari pantai atau kawasan industri (Lefroy *et al.* 1992). Yoshida (1981) melaporkan bahwa kandungan S

dalam air sungai dan irigasi di beberapa negara berkisar antara 0,2-4,7 ppm dengan rata-rata 4,1 ppm. Menurut Ismunadi (1982), 44% air irigasi yang diambil di Jawa mengandung kurang dari 2 ppm S. Yoshida dan Chaudhry (1979) menegaskan bahwa 2,7 ppm S dalam air irigasi cukup untuk memasok kebutuhan tanaman padi dengan asumsi tanaman membutuhkan 100 cm air hingga masak. Lebih lanjut, Lefroy *et al.* (1992) melaporkan takaran deposisi S dalam air hujan di negara penghasil padi berkisar antara 0,4-2,9 ppm S/m². Daerah yang memiliki curah hujan relatif tinggi mempunyai kandungan S tinggi, sehingga mengurangi kahat S.

Pada kondisi sawah tadah hujan dengan tekstur lempung pasir di Jawa Tengah, pemberian 20 kg S/ha ammonium sulfat meningkatkan hasil rata-rata 0,55 t/ha selama tiga musim tanam (Gambar 1). Peningkatan hasil diperoleh dari penggunaan ammonium sulfat selama fase awal pertumbuhan tanaman. Namun tanggap S di tempat yang sama hanya teramati selama musim tanam kedua di bawah kondisi tergenang. Tanaman padi gogorancan tidak tanggap terhadap pemberian pupuk S. Pupuk ZA yang diberikan 20 hari setelah padi gogorancan tumbuh tidak efektif meningkatkan hasil gabah. Padi gogorancan ditanam saat tanah tidak tergenang sehingga berpengaruh terhadap ketersediaan hara S bagi tanaman. Menurut Nearpass dan Clark *dalam* Mamaril (1995), penggenangan tanah sawah menurunkan ketersediaan hara S bagi tanaman, sehingga tanggap terhadap pemupukan yang mengandung S. Rendahnya ketersediaan hara S di tanah tergenang disebabkan oleh reduksi ion sulfat menjadi sulfida.

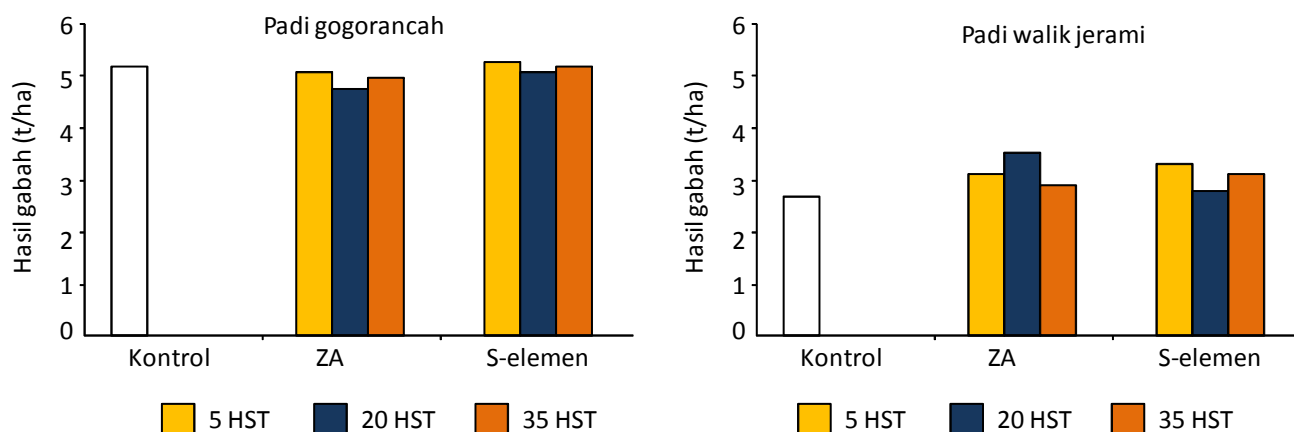
Pengelolaan Pupuk Sulfur di Lahan Sawah

Besarnya tanggap S juga dipengaruhi oleh pengelolaan pupuk S, seperti sumber, takaran, waktu dan metode

pemberian. Oleh karena tanaman umumnya menyerap $S-SO_4^{2-}$, bahan yang mengandung bentuk S tersebut seharusnya memiliki efektivitas yang sama. Bahan yang mengandung S lain seharusnya juga efektif sepanjang dapat membuat kondisi tanah menguntungkan bagi transformasi sulfur menjadi bentuk $S-SO_4^{2-}$, terutama selama pada tahap awal pertumbuhan tanaman padi. Beberapa kajian lapangan menunjukkan bahwa ammonium sulfat (ZA) dan gipsum sama-sama efektif sebagai sumber S (Mamaril and Gonzales 1989, FAO 1989). Efektivitas S-elemen (S⁰) dan bahan lain yang mengandung S⁰ kurang konsisten dibandingkan dengan bahan yang mengandung $S-SO_4^{2-}$. Blair (1987) serta Mamaril dan Gonzales (1988) melaporkan bahwa S⁰ sama-sama efektif seperti ZA, tetapi S-bentonit yang mengandung S⁰ dilaporkan tidak efektif. Lebih lanjut, bahan S⁰ yang diberikan 20 hari sebelum tanam, menurun efektivitasnya (Blair *et al.* 1993). Sulfur tunggal seperti ZA juga tidak efektif pada percobaan lapang di Jawa Tengah (Wihardjaka *et al.* 1999). Pemberian ammonium sulfat meningkatkan hasil gabah 5,4% dibanding S⁰. Sebaliknya, bahan lain yang mengandung S⁰ dalam urea S (US) efektif meskipun efektivitasnya lebih rendah daripada ZA, baik pada kondisi rumah kaca maupun di lapangan (Mamaril and Gonzales 1988).

Dalam beberapa laporan disebutkan bahwa pemupukan S dengan takaran 20-30 kg S/ha memberikan hasil gabah terbaik (FAO 1989), di mana setiap ton hasil gabah, tanaman menyerap rata-rata 2,3 kg S/ha. Menurut Cacnio dan Mamaril (1990), pemberian pupuk S dengan takaran 20 kg S/ha cukup untuk memenuhi kebutuhan tanaman padi menghasilkan gabah 5 t/ha.

Semua sumber pupuk S sama efektifnya sepanjang tersedia bagi tanaman (Blair *et al.* 1979). Hasil penelitian



Gambar 1. Pengaruh sumber dan waktu pemberian pupuk S terhadap hasil padi IR64 pada lahan sawah tadah hujan, Jakenan, Jawa Tengah. Rata-rata dari 3 musim tanam (Wihardjaka dan Suprpto 1997, Wihardjaka *et al.* 1999).

di Sulawesi Selatan menunjukkan tidak ada perbedaan pengaruh sumber pupuk S terhadap hasil gabah (Tabel 2). Pada satu lokasi, pemberian S-elemen 20 hari setelah tanam kurang menguntungkan dibanding diberikan pada saat tanam. Oksidasi awal S-elemen dan reduksi menjadi H_2S pada 20 hari sebelum tanam menyebabkan penurunan hasil gabah (Blair *et al.* 1979).

Pemberian hara S mempengaruhi anakan tanaman padi. Dengan demikian pupuk S seharusnya diberikan antara awal fase pertumbuhan dan sebelum fase anakan maksimum (Dobermann and Fairhurst 2000, Singh *et al.* 2012). Pada fase anakan aktif, tanaman padi lebih aktif menyerap S. Jika S kurang tersedia pada awal pertumbuhan tanaman maka jumlah anakan berkurang dan hasil padi akan turun (Singh *et al.* 2012). Bilamana hara S terbatas, penambahan pupuk nitrogen tidak mengubah hasil dan kandungan protein dalam tanaman (Zuzhang *et al.* 2010).

Kajian di Filipina dengan tiga waktu pemberian S berbeda memberikan keragaman dalam kemasakan tanaman padi (Mamaril *et al.* 1991). Pemberian S^0 (S-elemen) saat 30 HST pada tanaman padi varietas IR66 berumur pendek tidak memberikan banyak manfaat, namun tanggap S nyata tercapai bilamana gipsum diberikan 30 HST. Padi berumur genjah seperti IR64 memberikan tanggap yang nyata terhadap S, baik dalam bentuk S^0 maupun gipsum setelah 30 HST. Pada varietas berumur dalam seperti IR72, tanaman berumur 30 HST masih termasuk periode antara anakan aktif dan anakan maksimum, dimana tanaman masih tanggap terhadap pemberian S. Pada percobaan selama tiga tahun (enam musim tanam) di Jawa Tengah menggunakan varietas IR64 umur genjah (110 hari), pemberian ZA pada 35 HST menghasilkan gabah yang sama antara sistem walik jerami dengan perlakuan kontrol (0S). Pemberian ZA pada 20 HST masih menghasilkan gabah padi walik jerami lebih tinggi daripada kontrol (Gambar 1).

Tabel 2. Hasil padi pada lahan sawah dengan sumber S yang berbeda di Sulawesi Selatan.

Perlakuan	Hasil gabah (t/ha)		
	Lokasi 1	Lokasi 2	Lokasi 3
Kontrol	0,96 a	3,88 a	3,33 a
Ammonium sulfat	2,72 b	5,21 b	4,72 c
Gipsum	2,62 b	4,85 b	4,61 c
S-elemen, saat tanam	2,68 b	5,25 b	4,55 c
S-elemen, 20 HST	-	-	4,11 b

Angka selajur yang diikuti oleh huruf yang sama tidak berbeda nyata pada taraf 0,05 menurut uji BNT.

HST = hari setelah tanam

Sumber: Blair *et al.* (1979)

Tidak seperti N, pupuk S seharusnya diberikan pada permukaan tanah untuk memperoleh efisiensi pemupukan lebih tinggi. Pemberian hara $S-SO_4^{2-}$ pada lapisan reduktif tanah sawah tergenang dimungkinkan terjadi reduksi menjadi sulfida dan dipresipitasikan oleh logam berat seperti Fe, sehingga kurang tersedia bagi tanaman padi. Sulfur yang diberikan pada lapisan tanah reduksi juga dapat divolatilisasi sebagai H_2S . Demikian pula jika S^0 dibenamkan atau diberikan pada zona reduktif tidak akan dioksidasi dengan cepat dan menjadi tersedia bagi tanaman. Tanaman menyerap S lebih efisien jika S^0 diberikan pada zona reduktif karena sulfur dapat dioksidasi menjadi sulfat pada perakaran tanaman padi dan sulfat yang terbentuk kemungkinan tercuci relatif rendah (He *et al.* 1994). Menurut Blair (1987), pembenaman S^0 bubuk halus ke dalam tanah tergenang tidak efektif seperti pemberian pada permukaan dalam meningkatkan hasil biomassa kering dan serapan S pada lima varietas padi yang diuji (IR20, IR2755, B4-62, IR26, Mudgo). Disimpulkan bahwa hara S dan N seharusnya tidak dikombinasikan dan diterapkan dengan cara yang sama di tanah sawah tergenang untuk memperoleh efisiensi yang tinggi dari penggunaan kedua hara tersebut, terutama bilamana tanah terlalu reduktif.

Di beberapa lokasi pengujian, pemberian S dalam bentuk amonium sulfat selain mengatasi kekahatan S juga sekaligus dapat meningkatkan efisiensi pupuk dan hasil padi sawah dan padi gogorancah masing-masing 10,8% dan 52,9% dibanding tanpa S (Bastari 1996). Pemberian hara S dalam ramuan pupuk NPK dapat meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk. Untuk memperoleh 1 kg gabah kering giling, takaran pupuk NPKS lebih rendah dibandingkan dengan pupuk NPK saja (Tabel 3).

Tabel 3. Rata-rata jumlah pupuk yang digunakan untuk memperoleh 1 ton gabah kering giling pada beberapa lokasi di Indonesia.

Lokasi	Tanaman	Jumlah pupuk yang digunakan (kg)	
		N P K S	N P K
Jember	Padi sawah	112	119
Bulukumba	Padi sawah	125	139
Sidrap	Padi sawah	66	94
Polmas	Padi sawah	71	88
Sampang	Padi gora	106	129
Bangkalan	Padi gora	143	150
Limapuluh Koto	Padi gora	123	154
Lampung Selatan	Padi gora	148	193
Gowa	Padi gora	80	100
Takalar	Padi gora	144	152
Kampar	Padi gora	221	226

Gora = gogorancah

Sumber: Bastari (1996)

Peran Sulfur dalam Mitigasi Perubahan Iklim

Pada dekade terakhir, isu lingkungan yang menjadi perhatian dunia adalah pemanasan global dan perubahan iklim akibat peningkatan konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer. Budi daya padi sawah merupakan salah satu sumber pembentukan gas metana (CH_4) dan dinitrogen oksida (N_2O). Kedua gas tersebut bersifat radiaktif di atmosfer bersama-sama CO_2 (Partohardjono 2002). Gas metana menyokong 18-25% fenomena pemanasan global, di mana 25-50% dari total emisi metana global berasal dari lahan sawah (Bouman *dalam* Setyanto *et al.* 1997). Organisme pengoksidasi metana dapat menyebabkan tanah-tanah tertentu sebagai rosot (*sink*) metana (IPCC 1992). Gas dinitrogen oksida yang mempunyai waktu tinggal 150 tahun selain menyebabkan pemanasan global, juga dapat merusak lapisan ozon di stratosfer (Sasa *et al.* 2000, Johnson *et al.* 2007).

Emisi metana dari lahan sawah tergenang adalah 40-50 Tg CH_4 /tahun atau mendekati 10% dari total emisi metana global (Dubey 2005). Pasokan air terkontrol dan persiapan lahan intensif di lahan sawah tergenang memberikan kontribusi terhadap perbaikan pertumbuhan padi yang menghasilkan dan emisi CH_4 lebih besar. Teknik perbaikan pengelolaan air dapat mengurangi emisi dari lahan sawah, tetapi pengelolaan praktis yang dapat dikerjakan untuk mengurangi emisi CH_4 tanpa meningkatkan kehilangan N dan mengurangi hasil belum dikembangkan.

Pemupukan nitrogen yang mengandung S seperti ammonium sulfat yang diberikan tiga tahap (1/3 porsi sebelum tanam, 1/3 porsi pada fase anakan aktif, dan 1/3 porsi pada fase primordia bunga) dapat mengurangi emisi metana berkisar antara 43-61%, sedangkan urea tablet yang dibenamkan ke dalam lapisan reduksi tanah sawah menurunkan emisi metana sebesar 22-61% (Setyanto *et al.* 1999) (Tabel 4).

Pemupukan ZA dapat menggantikan pupuk urea pril pada padi sawah karena mampu mengurangi metana sebesar 28 kg CH_4 /ha dan meningkatkan hasil gabah 7,5%. Menurut Schultz *et al. dalam* Setyanto *et al.* (1999),

pupuk N yang mengandung S menyebabkan terjadinya persaingan antara bakteri penghasil metana (metanogen) dan bakteri pereduksi sulfat dalam memperoleh hidrogen, sehingga menghambat pembentukan metana. Terbentuknya ion sulfit sebagai hasil samping dari hidrolisis ZA memperlambat penurunan potensial redoks tanah akibat terjadinya proses oksidasi sulfit menjadi sulfat, sehingga Eh tanah cenderung lebih tinggi. Bagi bakteri penghasil metana, sulfit dan sulfat bersifat toksik (Jacobsen *dalam* Setyanto *et al.* 1999). Pemupukan ZA di lahan sawah mereduksi emisi metana 25-36% (Jain *et al.* 2004).

Sebanyak 60-70% dari pupuk N yang diberikan hilang sebagai N dalam bentuk gas, terutama melalui proses volatilisasi NH_3 dan denitrifikasi. Menurut Byrnes (1990), hampir 90% emisi gas N_2O berasal dari tanah melalui reaksi biologi nitrifikasi-denitrifikasi selama periode tanah basah-kering secara bergantian. Pada sistem sawah irigasi dengan kontrol air yang tepat, emisi N_2O biasanya kecil, kecuali jika pupuk N diberikan dalam jumlah yang berlebihan pada tanah sawah yang subur. Pada tanah berdrainase buruk, pelumpuran tanah sawah, nitrifikasi rendah berlangsung dan kehilangan NO_3 tercuci biasanya < 10% dari pupuk N yang diberikan (Dobermann and Fairhursts 2000).

Peningkatan takaran pupuk N berpotensi mengakibatkan terjadinya kehilangan N lebih besar tanpa pengelolaan yang tepat. Rendahnya efisiensi pemupukan nitrogen menyebabkan pelepasan N dalam bentuk gas, terutama N_2O menjadi tinggi. Namun pemberian pupuk N yang mengandung sulfur dalam bentuk ZA atau S-elemen dapat menekan pelepasan gas dinitrogen oksida ke atmosfer. Pemberian S-elemen (S^0) bersamaan dengan 115 kg N/ha pada lahan sawah tadah hujan di Jawa Tengah menurunkan emisi gas dinitrogen oksida 45-52%, meskipun tidak nyata mempengaruhi hasil gabah (Tabel 5). Penelitian Suharsih *et al.* (2001) juga menunjukkan penambahan hara S pada urea pril dapat menurunkan emisi gas dinitrogen oksida (Tabel 6). Penggunaan pupuk urea yang dilapisi sulfur selain meningkatkan efisiensi

Tabel 4. Emisi gas metana dan hasil gabah IR64 pada perlakuan pemberian pupuk N pada lahan sawah irigasi. Pati, 1998.

Pemupukan ¹⁾	Emisi gas metana (kg CH_4 /ha)		Hasil gabah (t/ha)		kg CH_4 /t gabah	
	MH	MK	MH	MK	MH	MK
Tanpa pupuk	207	185	3,15	3,79	66	49
Urea pril diberikan 3 tahap	186	174	5,81	4,76	32	36
ZA diberikan 3 tahap	175	164	6,68	5,86	26	28
Urea tablet	197	184	7,62	4,83	26	38

¹⁾ Pupuk N diberikan dengan takaran 120 kg N/ha, MH = musim hujan, MK = musim kemarau
Sumber: Setyanto *et al.* (1999)

Tabel 5. Emisi gas dinitrogen oksida pada beberapa takaran S-elemen pada lahan sawah tadah hujan. Jakenan, 1999.

Pemupukan (kg S/ha)	Emisi gas N ₂ O (kg/ha/musim)		Hasil gabah (t/ha)		kg N ₂ O/t gabah	
	MH	MK	MH	MK	MH	MK
12	0,071	0,111	3,4	3,1	0,02	0,04
24	0,056	0,100	3,2	3,2	0,02	0,03
36	0,034	0,061	3,4	3,2	0,01	0,02

MH = musim hujan, MK = musim kemarau

Sumber: Sasa *et al.* (2000)

Tabel 6. Emisi gas dinitrogen oksida pada pemberian urea dan belerang pada lahan sawah tadah hujan. Jakenan, 2000.

Pemupukan	Emisi gas N ₂ O (kg/ha/musim)		Hasil gabah (t/ha)		kg N ₂ O/t gabah	
	MH	MK	MH	MK	MH	MK
Urea pril	0,225	0,073	3,95	4,01	0,06	0,02
Urea pril + S	0,182	0,047	3,90	4,12	0,05	0,01
Tanpa pupuk	0,203	0,069	2,59	3,43	0,08	0,02

Takaran pupuk N dan S masing-masing 90 kg N dan 20 kg S/ha, MH = musim hujan, MK= musim kemarau

Sumber: Suharsih *et al.* (2001)

pemupukan N juga mengurangi pelepasan gas dinitrogen oksida ke udara (Sasa *et al.* 2000).

Tantangan Penelitian Sulfur pada Padi Sawah

Selain kajian transformasi dan perilaku sulfur pada lahan sawah tergenang, juga perlu dilakukan penelitian dampak kahat S terhadap sistem pertanian berkelanjutan ramah lingkungan, daerah dan gejala kekahatan S, dan diperkuat oleh pengujian tanah atau analisis jaringan tanaman. Perbaikan penggunaan metode uji tanah untuk mengungkap status S perlu diusahakan pada berbagai agroekologi tanaman padi.

Terkait dengan tekanan populasi penduduk dan penurunan luas lahan untuk produksi pertanian, banyak negara menerapkan pertanian intensif dan diversifikasi untuk meningkatkan produksi pangan. Alternatif pola tanam melalui rotasi tanaman padi dengan tanaman palawija pada lahan sawah diharapkan dapat meningkatkan dinamika ketersediaan hara-hara esensial dalam tanah, termasuk S, sehingga dapat digunakan untuk memperbaiki kesuburan tanah dan sebagai pertimbangan dalam strategi pengelolaan pupuk pada tanaman berbeda yang dirotasi.

Interaksi S dan hara-hara lain seperti NPK perlu mendapat perhatian lebih besar karena ketersediaan hara-hara tersebut dalam tanah menurun cepat, terutama pada pertanian intensif.

Kontribusi S dari sumber-sumber alami seperti hujan dan irigasi pada lingkungan tertentu juga perlu mendapat perhatian. Hara S dari sumber-sumber alami telah dimanfaatkan oleh tanaman, sehingga dapat digunakan dalam menetapkan imbang S yang sesuai untuk memperoleh produktivitas yang optimal.

KESIMPULAN DAN SARAN

- 1) Efektivitas pupuk yang mengandung S-SO₄²⁻ sama dengan bahan yang mengandung S°. Pada kondisi yang menguntungkan, S° segera dapat dimanfaatkan tanaman melalui transformasi S° menjadi bentuk S-SO₄²⁻ pada perakaran tanaman padi. Pemberian hara S dengan takaran 20 kg/ha bersamaan dengan pemberian pupuk lainnya (N, P, K) cukup untuk mendukung pertumbuhan tanaman padi dengan hasil gabah 5 t/ha di lokasi yang tanggap terhadap pemberian S.
- 2) Pupuk S disarankan untuk diberikan pada saat pertumbuhan tanaman padi antara fase anakan aktif hingga fase anakan maksimum. Pemberian S pada fase pertumbuhan anakan aktif lebih efektif diserap tanaman padi. Pemberian pupuk S disebar di permukaan tanah sawah tergenang memberikan efisiensi yang lebih tinggi daripada cara pemberian lainnya.

- 3) Penggunaan hara S sulfur seharusnya mulai dimasukkan dalam paket pemupukan tanaman produksi padi di tingkat petani. Sulfur yang diberikan dalam bentuk ZA atau S^0 dalam budidaya tanaman padi sawah dapat mengurangi pelepasan gas metana dan dinitrogen oksida ke atmosfer. Sulfur berperan penting dalam mitigasi emisi gas rumah kaca di lahan sawah. Informasi emisi gas rumah kaca dari tanah sawah melalui penggunaan sulfur di Indonesia masih terbatas, sehingga diperlukan penelitian lebih lanjut.
- 4) Uji tanah atau analisis jaringan tanaman dapat digunakan untuk diagnosis kahat S. Gejala kahat S yang terdeteksi cukup awal relatif mudah diatasi dengan menggunakan pupuk yang mengandung S, seperti urea yang diselubungi S (SCU), ZA, superfosfat tunggal, sebagai bagian dari paket pengelolaan hara terpadu dengan mempertimbangkan masukan S dari air hujan dan irigasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Balitbangtan. 2011. Road Map Strategi Pertanian Menghadapi Perubahan Iklim. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Jakarta. 89 p.
- Bastari, T. 1996. Penerapan anjuran teknologi untuk meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk. pp. 7-35 *dalam* Prosiding Lokakarya Nasional Efisiensi Pupuk. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat. Bogor.
- Blair, G.J. 1987. Nitrogen-sulfur interaction in rice. pp. 195-203 *in* Efficiency of Nitrogen Fertilizer for Rice. International Rice Research Institute. Los Banos, Philippines.
- Blair, G.J., E.O. Momuat, and C.P. Mamaril. 1979. Sulfur nutrition of wetland rice. IRRI Res. Pap. Ser. No. 21. 29 pp.
- Blair, G.J., R.D.B. Lefroy, N. Chinoim, and G.C. Anderson. 1993. Sulfur soil testing. Plant Soil 156: 383-386.
- Byrnes, B.H. 1990. Environmental effects of N fertilizer use – an overview. Fertilizer Res. 26: 209-215.
- Cacnio, V.N. and C.P. Mamaril. 1990. Influence of preplanting moisture regime and two sulfur sources on growth, yield and sulfur uptake of rice. The Nucleus 28: 1-2.
- Chaerun, S.K. and C. Anwar. 2008. Dampak lingkungan penggunaan pupuk urea pada pembebanan N dan hilangnya kandungan N di sawah. Jurnal Pendidikan IPA 6(7): 1-8.
- Dobermann, A. and T. Fairhurst. 2000. Rice: Nutrient disorders & nutrient management. PPI – PPIC – IRRI.
- Dobermann, A., K.G. Cassman, C.P. Mamaril, and J.E. Sheehy. 1998. Management of phosphorus, potassium, and sulfur in intensive, irrigated lowland rice. Field Crops Res. 56: 13-138.
- Dubey, S.K. 2005. microbial ecology of methane emission in rice agroecosystem: A review. Appl. Eco. Environ. Res. 3(2):1-27.
- FAO. 1989. The sulphur newsletter No. 4. Fertilizer and plant nutrition service, FAO, Rome.
- He, Z.L., A.G. Odonnell, J.S. Wu, and J.K. Syers. 1994. Oxidation and transformation of elemental sulphur in soils. J. Sci. Food. Agric. 65: 59-65.
- IPCC. 1992. Methane emission and opportunities for control: Workshop Results of Intergovernmental Panel on Climate Change. JAE & EPA. September 1991.
- Ismunadji, M. 1982. Pengaruh pemupukan belerang terhadap susunan kimia dan produksi padi sawah. Tesis Doktor Fakultas Pasca Sarjana. IPB. Bogor.
- Ismunadji, M. and M. Miyake. 1978. Sulphur application and amino acid content of brown rice. JARQ 12(3): 180-182.
- Ismunadji, M., I. Zulkarnaini, and M. Miyake. 1975. Sulphur deficiency in lowland rice in Java. Contr. Centr. Res. Inst. Agric. Bogor No. 14.
- Jain, N., H. Pathak, S. Mitra, and A. Bhatia. 2004. Emission of methane from rice fields: A review. J. Sci. Indust. Res. 63: 101-115.
- Johnson, J.M.F., A.J. Franzluebbers, S.L. Weyers, and D.C. Reicosky. 2007. Agricultural opportunities to mitigate greenhouse gas emissions. Environmental Pollution 150: 107-124.
- Jones, U.S., J.C. Katyal, C.P. Mamaril, and C.S. Park. 1982. Wetland rice-nutrient deficiencies other than nitrogen. pp. 327-378 *in* Rice Research Strategies for the Future. International Rice Research Institute. Los Banos, Philippines.
- Mamaril, C.P. 1994. Contribution of sulphur research on rice production in Southeast Asia. Cooperative Depagri-IRRI Program. Bogor.
- Mamaril, C.P. 1995. Zinc and sulphur nutrition for rice. Rice Management Biotechnology. Associated Publishing Co. New Delhi. pp. 135-146.
- Mamaril, C.P., A.P. Umar, I. Manwan, and C.J.S. Momuat. 1976. Sulphur response of lowland rice in South Sulawesi, Indonesia. Contr. Centr. Res. Inst. Agric. Bogor No. 22: 12p.
- Mamaril, C.P. and P.B. Gonzales. 1988. Response of lowland rice to S in the Philippines. pp. 70-76 *in* the Proceedings of the International Symposium on

- Sulphur for Korean Agriculture. Korean Society of Soil Science and Fertilizer, Seoul-The Sulphur Institute, Washington, D.C.
- Mamaril, C.P. and P.B. Gonzales. 1989. Agronomic effectiveness of S sources for lowland rice. pp. 115-119 *in* Proceedings of a Seminar on Sulphur Fertilizer Policy for Lowland and Upland Rice Cropping Systems in Indonesia. ACIAR Proceeding No. 29. Australia.
- Mamaril, C.P., P.B. Gonzales, and V.N. Cacnio. 1991. Sulfur management in lowland rice. Paper presented during the International Symposium on the Role of Sulphur, Magnesium and Micronutrients in Balanced Plant Nutrition held at Chengdu, Sichuan, Proc. on April 3-10, 1991.
- Mengel, K. and E.A. Kirby. 1987. Principles of plant nutrition. 4th Edition. International Potash Institute, Bern, Switzerland.
- Morris, R.J. 1988. Sulphur – the fourth major plant nutrient. pp. 9-16 *in* the Proceedings of the International Symposium on Sulphur for Korean Agriculture. Korean Society of Soil Science, Seoul-The Sulphur Institute, Washington, D.C.
- Kurnia, U. 2008. Strategi pengelolaan lingkungan pertanian. Jurnal Sumberdaya Lahan 2(1): 59-74.
- Lefroy, R.D.B., C.P. Mamaril, G.J. Blair, and P.B. Gonzales. 1992. Sulphur cycling in rice wetlands. pp. 279-299 *in* Howard, R.W., J.W.B. Steward, M.V. Ivanov (Eds.). Sulphur Cycling on the Continents. Wiley. New York.
- Partohardjono, S. 2002. Pengelolaan lahan sawah irigasi dalam menekan emisi gas metan. pp. 37-42 *dalam* Prosiding Seminar Nasional Membangun Sistem Produksi Tanaman Pangan Berwawasan Lingkungan. Puslitbangtan. Bogor.
- Sasa, I.J., Mulyadi, and S. Partohardjono. 2000. Kombinasi urea tablet dan belerang pada padi tanam benih langsung: Upaya mereduksi gas N₂O di lahan sawah. Penelitian Pertanian 19(3): 8-12.
- Setyanto, P., A.K. Makarim, and A.M. Fagi. 1997. Methane emission from rainfed rice field at Jakenan, Central Java as affected by organic matter and water condition. Penelitian Pertanian 16(1): 19-25.
- Setyanto, P., Suharsih, A. Wihardjaka, dan A.K. Makarim. 1999. Pengaruh pemberian pupuk anorganik terhadap emisi gas metan pada lahan sawah. pp. 36-43 *dalam* Risalah Seminar Hasil Penelitian Emisi Gas Rumah Kaca dan Peningkatan Produktivitas Padi di Lahan Sawah. Puslitbangtan. Bogor.
- Singh, A.K., Manibhushan, M.K. Meena, and A. Upadhyaya. 2012. Effect of Sulphur and Zinc on Rice Performance and Nutrient Dynamics in Plants and Soil of Indo Gangetic Plains. Journal of Agricultural Science 4(11): 162-170.
- Suharsih, P. Setyanto, dan T. Sopiawati. 2001. Pengaruh penggunaan pupuk N lambat urai terhadap emisi gas N₂O pada lahan sawah tadah hujan. pp. 67-72 *dalam* Prosiding Seminar Nasional Budidaya Tanaman Pangan Berwawasan Lingkungan. Puslitbangtan. Bogor.
- van Groenigen, K.J., C. van Kessel, and B.A. Hungate. 2013. Increased greenhouse-gas intensity of rice production under future atmospheric conditions. Nature Climate Change 3: 288-291.
- Wihardjaka, A. dan Soeprapto. 1997. Tanggap tanaman padi sawah tadah hujan terhadap sulfur di Jawa Tengah. J. Agroland 4(4): 1-8.
- Wihardjaka, A., Soeprapto, and C.P. Mamaril. 1999. Response of rainfed lowland rice and soybean to sulphur in light textured soils in Central Java. Indonesian J. Crop Sci. 14(2): 29-34.
- Yoshida, S. 1981. Fundamentals of rice crop science. International Rice Research Institute. Los Banos, Philippines.
- Yoshida, S. and M.R. Chaudhry. 1979. Sulfur nutrition of rice. Soil Sci. Plant Nutr. 25(1): 121-1345.
- Zuzhang, L., L. Guangrong, Y. Fusheng, T. Xiangnan, and G. Blair. 2010. Effect of sources of sulphur on yield and disease incidence in crops in Jiangxi Province, hina. Pp. 60-63 *in* Proceeding of World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World 1-6 August 2010 at Brisbane, Australia.